



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 101 10 270.4

**Anmeldetag:** 2. März 2001

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Ermittlung von Wechselwirkungen  
zwischen mehreren optischen Kanälen eines  
Wellenlängen-Multiplex Signals

**IPC:** H 04 B, H 04 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Februar 2002  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hiebinger



## Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung von Wechselwirkungen zwischen mehreren optischen Kanälen eines Wellenlängen-Multiplex Signals

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Wechselwirkungen zwischen mehreren optischen Kanälen bei optischer Wellenlängen-Multiplex (WDM)-Übertragung.

10 Bei der Übertragung von WDM-Signalen durch optische Fasern treten nichtlineare Störungen auf. Bei einem optischen Übertragungssystem müssen diese Effekte ermittelt und weiterhin minimiert werden. Dafür werden Meßverfahren der Qualitätseigenschaften eines Signals entwickelt.

15

Übliche Verfahren zur Messung der nichtlinearen Effekte bei WDM-Übertragungssystemen basieren auf der Ermittlung eines Qualitätsparameters wie der Q-Faktor oder die Bitfehlerrate (s. "Optical Fiber Communications", IIIA, I.P. Kaminow, T.L.

20 Koch, p. 316) z. B. mittels einer Entscheiderstufe. Dadurch wird ein Kriterium für die Signalqualität bzw. die Qualität aller Kanäle des Signals ermittelt.

Ein solches Meßverfahren ist aus der Patentanmeldung

25 DE 199 14 793 A1 bekannt, bei der ein Verfahren und eine Anordnung zur Messung der Signalqualität in einem optischen Übertragungssystem beschrieben sind. Ein empfangenes Binärsignal BS wird mit unterschiedlichen Schwellen abgetastet, die Abtastergebnisse werden integriert und abgespeichert. Aus den  
30 gemessenen Wahrscheinlichkeitsverteilung und Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung können Rückschlüsse auf die Signalqualität, beispielsweise die Bitfehlerrate, gemacht werden (Zusammenfassung). Die Figur 13 dieser Literaturstelle stellt eine Meßanordnung für WDM-Signale dar, wobei verschiedene  
35 Qualitätsparameter für jeden Kanal eines WDM-Signals ermittelt werden.

Die folgenden Abbildungen beschreiben einige Varianten der Messung der Qualität eines optischen übertragenen WDM-Signals nach Stand der Technik, deren Eigenschaften erläutert werden. Dabei zeigt:

5

Fig.1: Realisierung eines Meßgerätes,

Fig.2: Prinzipschaltbild eines Empfängers mit variabler Entscheiderschwelle,

10

Fig.3: Verlauf des Q-Faktors bei Verstellung der Entscheiderschwelle für zwei verschiedene Übertragungsstrecken.

15 Figur 1 zeigt eine übliche Realisierung eines Meßgerätes zur Ermittlung des Q-Faktors oder der Bitfehlerrate BER eines über eine optische Faser LWL übertragenen WDM-Signals S. Die Messung kann am Ende der Übertragungsstrecke LWL sowie an einer Stelle der Übertragungsfaser LWL durch eine Einkoppeleinrichtung EE erfolgen. Das WDM-Signal S wird in ein Wellenlängen-Demultiplexer F, z. B. ein abstimmbares Filter, eingespeist, so daß alle Kanäle selektiv getrennt werden. Jeder Kanal wird weiterhin einem Empfänger Rx zur Qualitätsmessung zugeführt. Der Empfänger Rx liefert beispielsweise die Werte  
20 des Q-Faktors Q oder der Bitfehlerrate BER für alle Kanäle.  
25

In Figur 2 ist ein Ausführungsbeispiel eines Empfängers Rx zur Ermittlung der Bitfehlerrate BER und der daraus möglichen Ableitung des Q-Faktors Q eines Kanals dargestellt. Ein aus  
30 einem WDM-Signal ausgewähltes Kanalsignal K wird einer Entscheiderstufe ES1 mit einer festen Entscheiderschwelle V1 zugeführt. Das Kanalsignal K wird auch mit einer variablen Entscheiderschwelle V2 einer parallel zur Entscheiderstufe ES1 angeordneten Entscheiderstufe ES2 abgetastet. Die Ausgangssignale der Entscheiderstufen ES1 und ES2 sind einem logischen  
35 "Exklusiv-Oder"-Element XOR zugeführt. Am Ausgang des Elements XOR werden unterschiedliche logische Zustände ermit-

telt. Diese werden durch ein Fehlerzähler EC gezählt. Aus den Zählergebnissen bei unterschiedlichen Schwellwerten werden die zugehörigen Q-Faktoren Q oder Bitfehlerraten BER für einen Kanal ermittelt. Der Q-Faktor kann auch direkt aus beliebig aufgezeichneten Amplitudenhistogrammen abgeleitet werden.

Figur 3 zeigt den Verlauf des Q-Faktors Q für zwei verschiedene Übertragungsstrecken als Funktion der variablen Entscheiderschwelle V2. Bei optimaler Abtastung ergibt sich ein hoher Q-Faktor Q, z. B.  $Q > 6,5$ , oder eine möglichst niedrige gemessene Bitfehlerrate BER, z. B.  $BER < 10^{-10}$ .

Die Bitfehlerrate BER kann bei einer durch einen fehlerkorrigierenden Code FEC (Forward Error Correction) gesicherten Übertragung durch die Zahl der korrigierten Bits bestimmt werden. Ein Ausführungsbeispiel mit FEC ist in der Figur 1 der älteren Patentanmeldung P 01103107.7 beschrieben.

Als Ursache für Wechselwirkungen zwischen den Kanälen, sogenannten Mehrkanalwechselwirkungen, sind zwei verschiedene Effekte bei der Übertragung von Wellenlängen-Multiplex-(WDM)-Signalen über optische Faser für nichtlineare Störungen maßgeblich. Dies sind der Kerr-Effekt und der nichtlineare Streuprozeß. Der Kerr-Effekt verursacht hauptsächlich Vierwellenmischung ("Four Wave Mixing" FWM) und/oder Kreuzphasenmodulation ("Cross Phase Modulation" XPM). Der nichtlineare Streuprozeß bewirkt stimulierte Raman-Streuung ("Stimulated Raman Scattering" SRS). Diese nichtlinearen Effekte sind in der Literatur "Fiber-Optic Communication Systems", G.P. Agrawal, 2<sup>nd</sup> Edition, pp. 323-328 ausführlich beschrieben. Diese Mehrkanalwechselwirkungen werden insbesondere bei "Dense-Wavelength-Division-Multiplex"- (DWDM)-Übertragung auftreten, weil die Kanalabständen noch geringer als bei WDM-Systemen sind. Für eine optimale Übertragung müssen diese Effekte gemessen und minimiert werden, damit der Q-Faktor Q einen möglichst hohen konstanten Wert für alle Kanäle aufweist.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht also darin, ein Verfahren zur Ermittlung und zur Unterscheidung von insbesondere durch Kerr-Effekte und Streuprozesse hervorgerufenen Mehrkanalwechselwirkungen bei der Übertragung eines WDM-Signals anzugeben.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren gelöst, die durch die Merkmale des Anspruches 1 gekennzeichnet ist.

Zweckmäßige Weiterbildungen werden in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Die Mehrkanalwechselwirkungen werden erfindungsgemäß durch die Ermittlung und Auswertung des spektralen Verlaufes des Q-Faktors entlang der Bandbreite eines WDM- oder DWDM-Signals unterschieden. Dies erfolgt nach der Abtastung aller Kanäle des WDM-Signals, wobei ein Amplitudenhistogramm für jeden Kanal zur Berechnung des Q-Faktors ermittelt werden kann. Bei gesicherten Datensignalen kann die Korrekturstatistik herangezogen werden.

Ein durch eine Auswertung durchgeführter Vergleich zwischen den Q-Faktor-Werten der Kanäle am Rand und in der Mitte der Bandbreite liefert die Aussage, ob Mehrkanalwechselwirkungen maßgeblich durch Kerr-Effekte oder durch einen nichtlinearen Streuprozess verursacht werden.

Bei DWDM-Übertragung mit vielen schmalen Frequenzabständen aufweisenden Kanälen kann die Ermittlung des Q-Faktors auf einigen Kanälen am Rand oder in der Mitte der Bandbreite beschränkt werden. Bei großer Kanalanzahl ist es sinnvoll, um statistische Variationen der Meßergebnisse zu erfassen.

Falls eine hohe Dispersion die Messung des Q-Faktors beeinflusst, wird diese, wie andere störende Effekte, zunächst kompensiert.

Aufgrund der Messungen des Verlaufs des Q-Faktors kann das WDM-System optimiert werden.

5

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand von Figuren näher beschrieben. Dabei zeigen:

10      Figur 4: Verlauf des Q-Faktors in Abhängigkeit der Wellenlänge bei Mehrkanalwechselwirkungen durch Kerr-Effekte FWM, XPM,

15      Figur 5: Verlauf des Q-Faktors in Abhängigkeit der Wellenlänge bei Mehrkanalwechselwirkungen durch einen nichtlinearen Prozeß SRS,

20      Figur 4 zeigt den spektralen Verlauf SV des Q-Faktors  $Q$  für jeden Kanal, der durch Kerr-Effekte FWM, XPM verursacht wurde. Dieser weist in der Mitte einen kleineren Q-Faktor  $Q$  als am Rand auf. Dies liegt daran, daß die Übertragung bei den Zentralkanälen  $K_{iz}$  durch mehrere benachbarte Kanäle beeinträchtigt wird. Die Kanäle am Rand des Übertragungsbandes haben weniger benachbarte Kanäle, so daß die Störungen durch  
25      Kerr-Effekte geringer sind. Deshalb weisen Randkanäle  $K_{iR}$  einen besseren Q-Faktor  $Q$  auf.

30      In Figur 5 ist der spektrale Verlauf SV des Q-Faktors  $Q$  bei einem nichtlinearen Streuprozess, der stimulierte Raman-Streuung SRS, dargestellt. Es ist bekannt, daß die Raman-Verstärkung mit wachsenden Frequenzdifferenzen zwischen Kanälen zunimmt (s. "Fiber-Optic Communication Systems", G.P. Agrawal, 2<sup>nd</sup> Edition, p. 381). Bei einer Frequenzdifferenz von ca. 13,2 GHz wird die Raman-Verstärkung maximal. Dadurch  
35      sind die Randkanäle  $K_{iR}$ , die größere Frequenzdifferenz zu den übrigen Kanälen, insbesondere zu denen auf der anderen Seite des Übertragungsbandes, aufweisen, am meisten durch Störungen

des nichtlinearen Streuprozesses SRS betroffen. Deshalb wird im Gegensatz zu Figur 4 der Verlauf des Q-Faktors  $Q$  niedrige Werte am Rand des Übertragungsbandes aufweisen.

- 5 Zur Ermittlung des Kurvenverlaufs können verschiedene Methoden angewendet werden. Die Q-Faktoren  $Q$  in Figur 4 und 5 können beispielsweise mit einem Polynom zweiter Ordnung interpoliert und die Q-Faktoren der Randkanäle  $K_{iR}$  mit Geraden interpoliert werden. Die Differenzen zwischen dem Polynom und
- 10 den Geraden werden ausgewertet. So kann die Art und Größe des störenden Effekts der Mehrkanalwechselwirkungen ermittelt werden.

- Die Kenntnis der maßgeblichen Effekte bei Mehrkanalwechselwirkungen ermöglicht eine weitere Optimierung von Systemparametern wie Kanalleistung oder Dispersionskompensation insbesondere bei einer DWDM-Übertragung. Dadurch wird die Optimierung bei der Installation eines Übertragungssystems beschleunigt. Für eine Langzeitüberwachung der Übertragung können
- 15 auch Alarmsignale zur Meldung von unterschiedlichen Mehrkanalwechselwirkungen vorgesehen werden.
- 20



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von Wechselwirkungen zwischen mehreren optischen Kanälen ( $K_i$ ) ( $i=1\dots N$ ) eines Wellenlängen-Multiplex (WDM)-Signals (S), bei dem  
5 Qualitätsparameter (Q, BER) für alle Kanäle ( $K_i$ ) ermittelt werden,  
anschließend der spektrale Verlauf (SV) der Qualitätsparameter (Q, BER) ermittelt wird,  
10 und schließlich der spektrale Verlauf der Qualitätsparameter (Q, BER) ausgewertet wird, um zwischen Kerr-Effekt (FWM, XPM) und nichtlinearem Streuprozess (SRS) als Ursache der Wechselwirkungen zu unterscheiden.

15 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß ein Amplitudenhistogramm für jeden optischen Kanal ( $K_i$ ) ermittelt wird, daraus als Qualitätsparameter (Q, BER) der Q-Faktor (Q) errechnet wird,  
20 oder  
daß als Qualitätsparameter (Q, BER) die Bitfehlerrate (BER) für jeden Kanal ( $K_i$ ) ermittelt wird,  
oder  
bei durch einen fehlerkorrigierenden Code (FEC) gesicherter Datenübertragung die Bitfehlerrate (BER) ermittelt wird.  
25

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß nur bei einigen Randkanälen ( $K_{iR}$ ) und einigen Zentralkanälen ( $K_{iZ}$ ) die Qualitätsparameter (Q, BER) ermittelt und  
30 ausgewertet werden.

4. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
35 daß bei kleineren Werten des Q-Faktors (Q) für die Zentralkanäle ( $K_{iZ}$ ) als für die Randkanäle ( $K_{iR}$ ) der Kerr-Effekt als maßgeblicher Effekt ermittelt wird oder daß bei größeren Wer-

ten des Q-Faktors ( $Q$ ) für die Zentralkanäle ( $K_{iz}$ ) als für die Randkanäle ( $K_{ir}$ ) der nichtlineare Streuprozess als maßgeblicher Effekt ermittelt wird.

5 5. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß bei größeren Werten der Bitfehlerrate (BER) für die Zentralkanäle ( $K_{iz}$ ) als für die Randkanäle ( $K_{ir}$ ) der Kerr-Effekt als maßgeblicher Effekt ermittelt wird oder daß bei kleineren  
10 Werten der Bitfehlerrate (BER) für die Zentralkanäle ( $K_{iz}$ ) als für die Randkanäle ( $K_{ir}$ ) der nichtlineare Streuprozess als maßgeblicher Effekt ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
daß aufgrund der ermittelten Q-Faktoren oder der Bitfehlerrate (BER) bei den einzelnen Kanälen ( $K_i$ ) des WDM-Signals ( $S$ ) eine unterschiedliche Preemphase zum Ausgleich der Q-Faktoren bzw. der Bitfehlerraten (BER) durchgeführt wird.

20 7. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß Dispersionseffekte vor der Messung minimiert werden.

25

## Zusammenfassung

Verfahren zur Ermittlung von Wechselwirkungen zwischen mehreren optischen Kanälen eines Wellenlängen-Multiplex Signals

5

Bei einer breitbandigen optischen Übertragung wird die Qualität eines "Dense Wavelength Division Multiplexed"- (DWDM) - Signals (S) durch Mehrkanalwechselwirkungen beeinträchtigt.

10

Das Verfahren dient zur Ermittlung der maßgeblichen Effekte, des Kerr-Effekts (FWM, XPM) und dem nichtlinearen Streuprozess (SRS) durch Auswertung des spektralen Verlaufs des Q-Faktors (Q) oder der Bitfehlerrate (BER).

15 Fig. 4 und 5





## Zusammenfassung

Verfahren zur Ermittlung von Wechselwirkungen zwischen mehreren optischen Kanälen eines Wellenlängen-Multiplex (WDM)-  
5 Signals

Bei einer breitbandigen optischen Übertragung wird die Qualität eines "Dense Wavelength Division Multiplexed"- (DWDM)-  
Signals (S) durch Mehrkanalwechselwirkungen beeinträchtigt.  
10 Das Verfahren dient zur Ermittlung der maßgeblichen Effekte, des Kerr-Effekts (FWM, XPM) und dem nichtlinearen Streuprozess (SRS) durch Auswertung des spektralen Verlaufs des Q-Faktors (Q) oder der Bitfehlerrate (BER).

15

Fig. 4 und 5

1/2

FIG 1

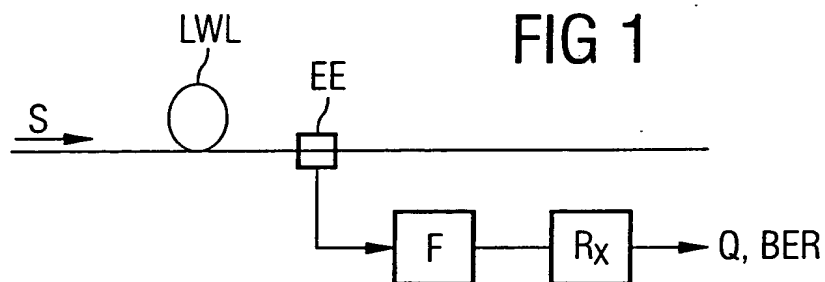


FIG 2

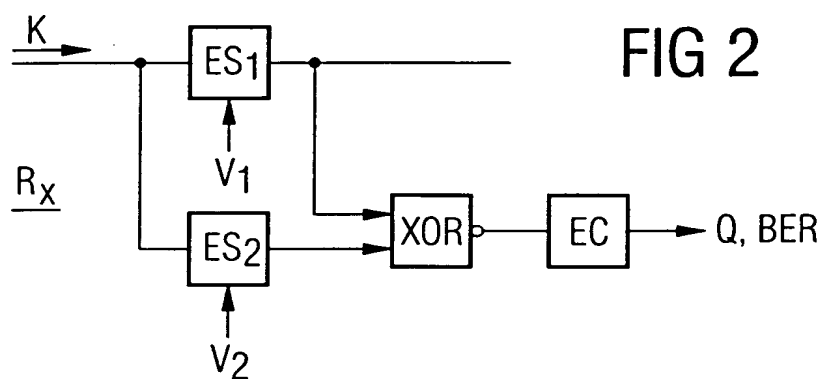


FIG 3

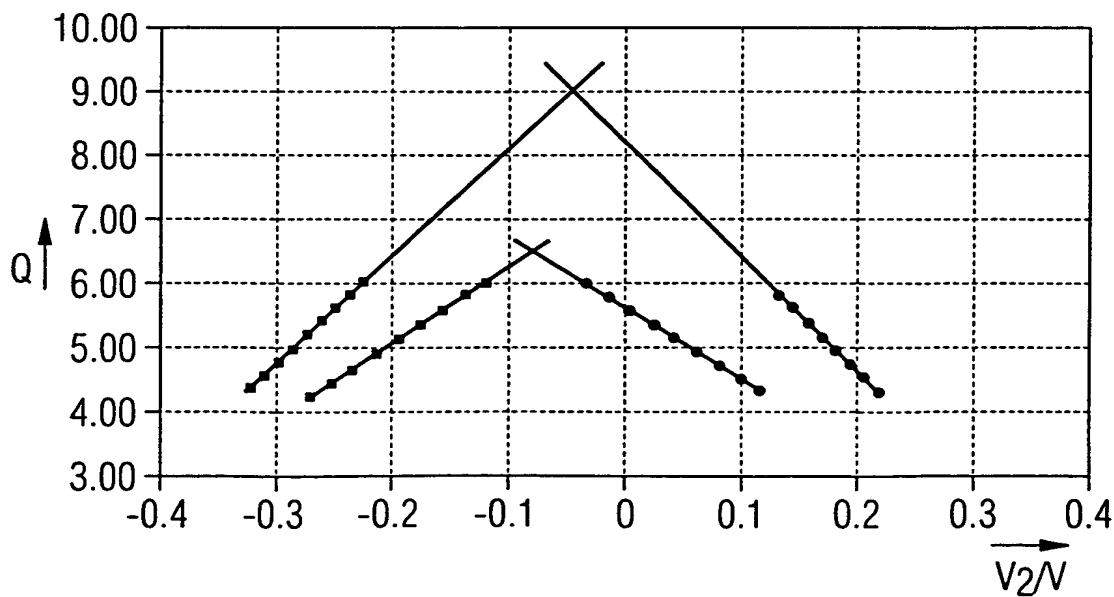


FIG 4

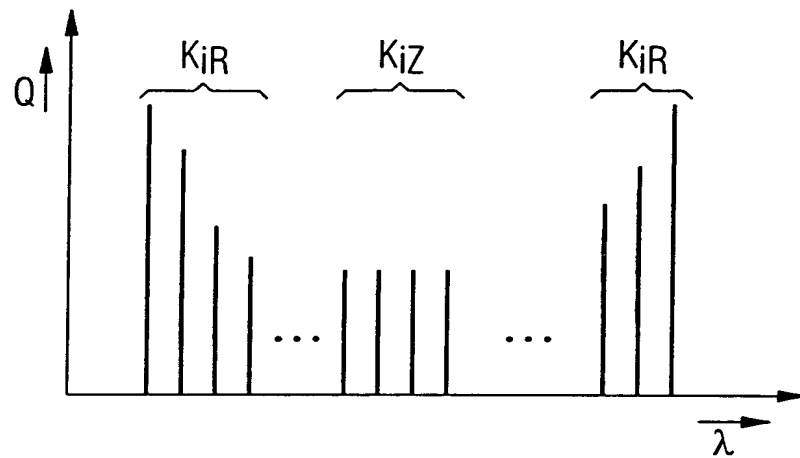


FIG 5

